

Modelación unidimensional del Embalse de Ribarroja de Ebro con DYRESM

Marina Arbat Bofill¹.

Ingeniera Geóloga, estudiante de doctorado.

marina.arbat@upc.edu

Òscar González Núñez²

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

ogonzalez@typsa.es

Ariadna Salgado Sendra²

Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos.

asalgado@typsa.es

Martí Sánchez Juny¹.

Doctor Ingeniero de Caminos. Profesor titular.

marti.sanchez@upc.edu

Ernest Bladé Castellet¹.

Doctor Ingeniero de Caminos. Profesor colaborador.

ernest.blade@upc.edu

Josep Dolz Ripollés¹.

Catedrático de Universidad. Doctor Ingeniero de Camino. Profesor titular.

j.dolz@upc.edu

¹*Grupo de Investigación FLUMEN. Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental. Universitat Politècnica de Catalunya, Jordi Girona 1-3 D-1, 08034, Barcelona*

²*TYPSA Cataluña, división de hidráulica*

1 Introducción

El embalse de Ribarroja se encuentra en la provincia de Tarragona, en el curso bajo el río Ebro. Aguas arriba se encuentra el embalse de Mequinenza e inmediatamente aguas abajo, el embalse de Flix. En la cola del embalse de Ribarroja se encuentra la desembocadura del río Segre (aguas abajo de su confluencia con el Cinca), uno de los afluentes más importantes del Ebro, que aporta prácticamente la mitad del caudal de entrada al embalse (figura 1).

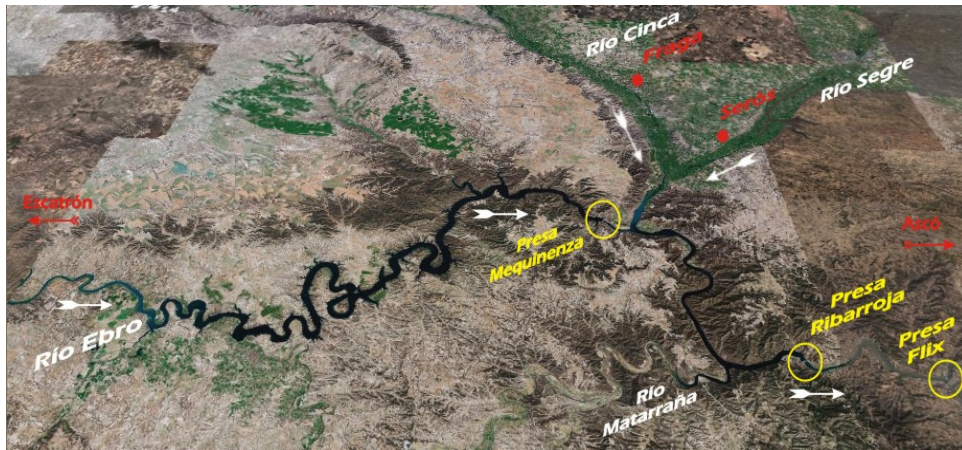


Figura 1 Situación del embalse de Ribarroja en el río Ebro

La presa de Ribarroja fue finalizada en 1969, siendo fundamentalmente un aprovechamiento hidroeléctrico aunque sus aguas también se aprovechen para el abastecimiento y el riego (LIMNOS 1996); además de la capacidad reguladora de avenidas. La presa es de gravedad y de planta recta, dispone de un aliviadero en coronación con siete compuertas a la margen izquierda además de dos desagües de fondo.

El Grupo de investigación FLUMEN lleva trabajando en el entorno del bajo Ebro, estudiando los embalses de Mequinenza, Ribarroja y Flix desde la década de los 90. Se dispone de una red de medidas de campo que permite tener controladas una serie de variables meteorológicas y de niveles de agua a lo largo de esta zona. Además desde el año 2007 se dispone de una plataforma equipada con una sonda multiparamétrica de medida de variables de calidad del agua en el embalse de Ribarroja.

Todos estos datos de campo han sido imprescindibles para el ajuste de un primer modelo unidimensional (mediante el modelo DYRESM) para la simulación de la evolución de los procesos de estratificación del embalse de Ribarroja (periodo 17/06/04 al 15/12/04).

2 Antecedentes: Modelización numérica de embalses

Los modelos numéricos centrados en la hidrodinámica de embalses son una herramienta útil tanto para el estudio del comportamiento de los embalses como para las predicciones y la gestión sostenible de los mismos.

2.1 Modelación numérica de la hidrodinámica y la temperatura de los embalses

La hidrodinámica estudia el movimiento del agua y las fuerzas que actúan en ella. Un modelo hidrodinámico proporcionará información sobre patrones de circulación y estratificación, mezcla y dispersión y velocidades del agua. Entendiendo la hidrodinámica del sistema se podrán llevar a cabo estudios de transporte de sedimentos, transporte de contaminantes o de calidad del agua.

La temperatura del agua representa una de las características más importantes de las aguas superficiales y es un factor crucial en los estudios hidrodinámicos y de calidad del agua ya que:

1. El perfil vertical de temperatura de un sistema afecta la estratificación, un elemento crítico para la mezcla vertical.
2. La solubilidad del oxígeno disuelto viene determinada básicamente por la temperatura del agua, generalmente cuanto más cálida sea el agua menor cantidad de oxígeno disuelto va a tener.
3. La mayoría de los procesos físicos, químicos y biológicos están gobernados por la temperatura, por ejemplo un aumento de temperatura aumenta procesos metabólicos y reproductivos.

4. Algunos procesos como la reaireación, la volatilización o la adsorción de elementos químicos en materia particulada pueden verse afectados por la temperatura. Incrementos de temperatura pueden aumentar la capacidad de disolución de componentes químicos.
5. La mayoría de las especies acuáticas pueden tolerar solamente un determinado rango de temperaturas, un cambio brusco o duradero de temperaturas pueden tener efectos importantes en las especies.
6. Además, la temperatura del agua también afecta económicamente la gestión, sea para navegar, para consumo o para otros usos.

2.2 Modelos hidrodinámicos comerciales y académicos

Actualmente los modelos numéricos que se utilizan en el campo del estudio hidrodinámico de embalses pueden ser:

- Unidimensionales (p. ej. DYRESM), predicen la distribución de temperatura, salinidad y densidad en una vertical en lagos o embalses.
- Bidimensionales (p. ej. CE-QUAL-W2), estudio longitudinal y vertical de la hidrodinámica y la calidad del agua, aplicable a grandes masas de agua.
- Tridimensionales (p. ej. ELCOM) predicciones de velocidad, temperatura y salinidad en masas de agua naturales así como pautas de circulación y dispersión.

Predecir el comportamiento de un embalse en base a distintos escenarios vendrá condicionado por la calidad de los datos disponibles y la precisión del esquema numérico, aunque también por la posibilidad de calibración utilizando registros existentes o experiencias previas en casos semejantes.

3 Objetivos

En el presente trabajo se fijan los siguientes objetivos:

- Elaborar un escenario con el modelo numérico DYRESM (1D) para el caso particular del embalse de Ribarroja de Ebro para modelar su hidrodinámica.
- Propuesta de calibración y análisis de sensibilidad de los parámetros principales del modelo con tal de ajustar el modelo al embalse.
- Analizar la capacidad y los parámetros influyentes del modelo así como su capacidad de predicción de resultados.

4 Modelización numérica unidimensional del embalse de Ribarroja

4.1 El Modelo DYRESM

DYRESM es un modelo para hidrodinámica de embalses, desarrollado por el Center for Water Research en Australia. Se trata de un modelo unidimensional, en la dirección vertical (profundidad), con perfiles de valores de variables en la columna de agua, asumiendo uniformidad en las otras dos dimensiones. Se elaboró para predecir la distribución vertical de las variables temperatura, salinidad y densidad en lagos y embalses que satisfacen la aproximación unidimensional.

4.2 Datos de campo

Para la modelización hidrodinámica del embalse se requiere una gran cantidad de datos meteorológicos, caudales y de temperaturas para el periodo de estudio. En este caso, debido a la calidad y cantidad de las frecuencias de las series temporales promediado diariamente.

Para determinar el comportamiento térmico del embalse es necesaria información del sistema completo (ver figura 2):

- Aportes del Segre, del Cinca y turbinado de Mequinenza.
- Características geométricas del embalse de Ribarroja.
- Datos meteorológicos.
- Extracciones, caudal de salida de la presa de Ribarroja.

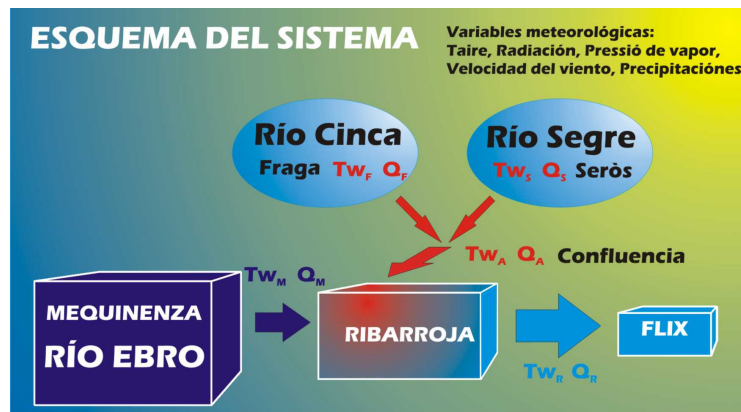


Figura 2 Esquema del sistema del embalse de Ribarroja de Ebro y los datos de entrada necesarios para la modelización con DYRESM

Las series de datos resultaron incompletas en algunos periodos. Para completar las series se aplicaron modelos estocásticos, obteniendo series completas; los datos obtenidos de la meteorología se pueden observar en el resumen de la figura 3, los de caudales y temperaturas de los flujos de entrada y salida del embalse en la figura 4 (González, 2007).

Además, para la validación de los resultados obtenidos con el modelo, se dispuso en el periodo de estudio, de perfiles de temperatura obtenidos mediante una sonda TR7 Aanderaa situada en una plataforma flotante cercana a la presa. Los perfiles llegan hasta los 18 metros de profundidad, tomando una medida cada 2 metros.

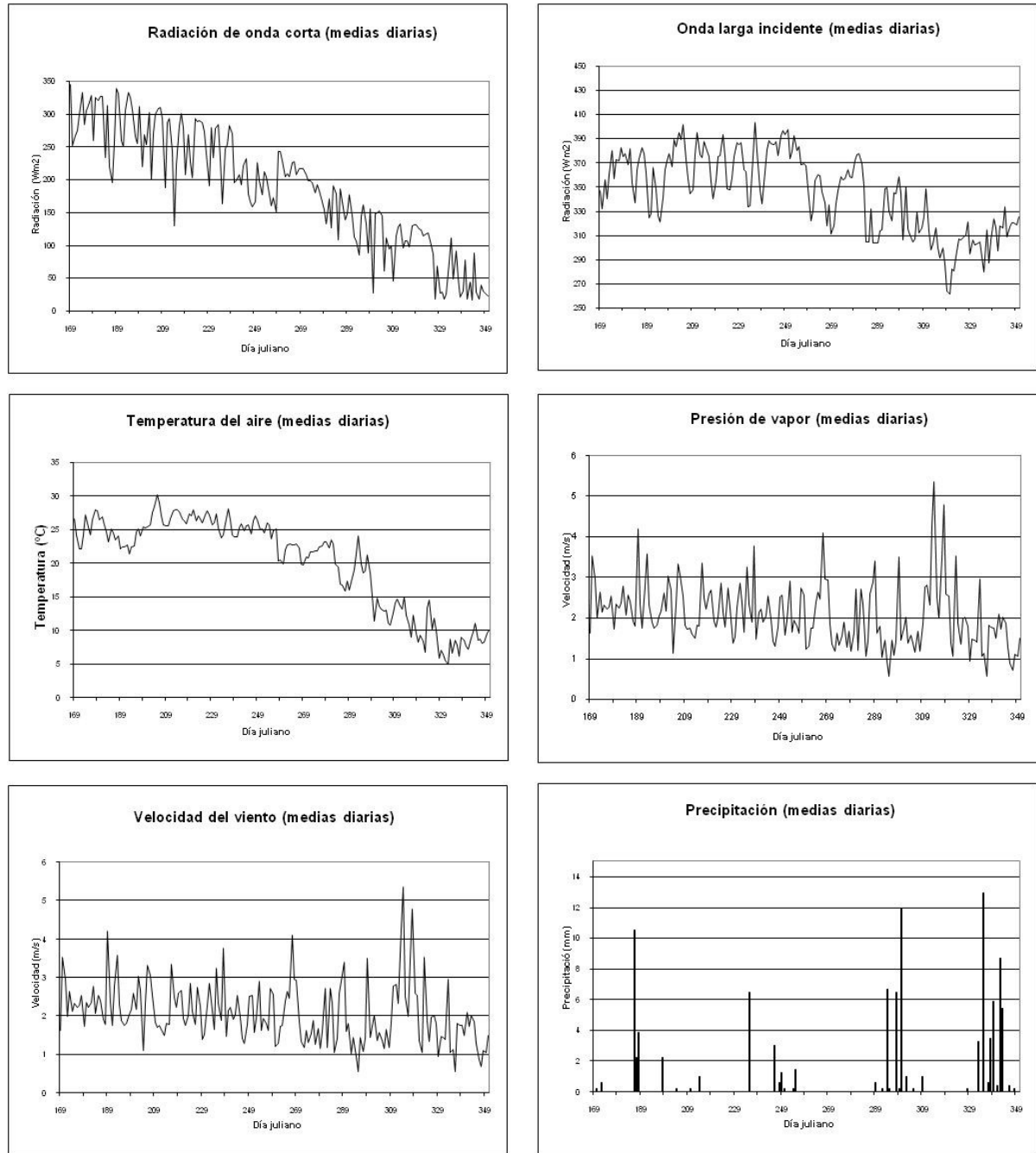


Figura 3 Resumen de datos meteorológicos utilizados en la modelación (periodo del 17/06/2004 al 15/12/2004)

4.3 Metodología

Una vez estudiado el comportamiento del embalse y haber recopilado y filtrado los datos de entrada se procedió a la calibración de los parámetros del modelo.

A continuación se llevaron a cabo una serie de simulaciones con variaciones de parámetros determinando los ajustes del caso real; y posteriormente se hizo la propuesta definitiva de parámetros que mejor predecían las temperaturas del agua de salida. Los parámetros más sensibles a la calibración fueron: grosor máximo y mínimo de capa (discretización), coeficiente de extinción de la luz, fricción entre aire-lámina de agua, velocidad mínima del viento necesaria para afectar la estructura térmica del embalse y su capacidad de mezcla debido al esfuerzo tangencial.

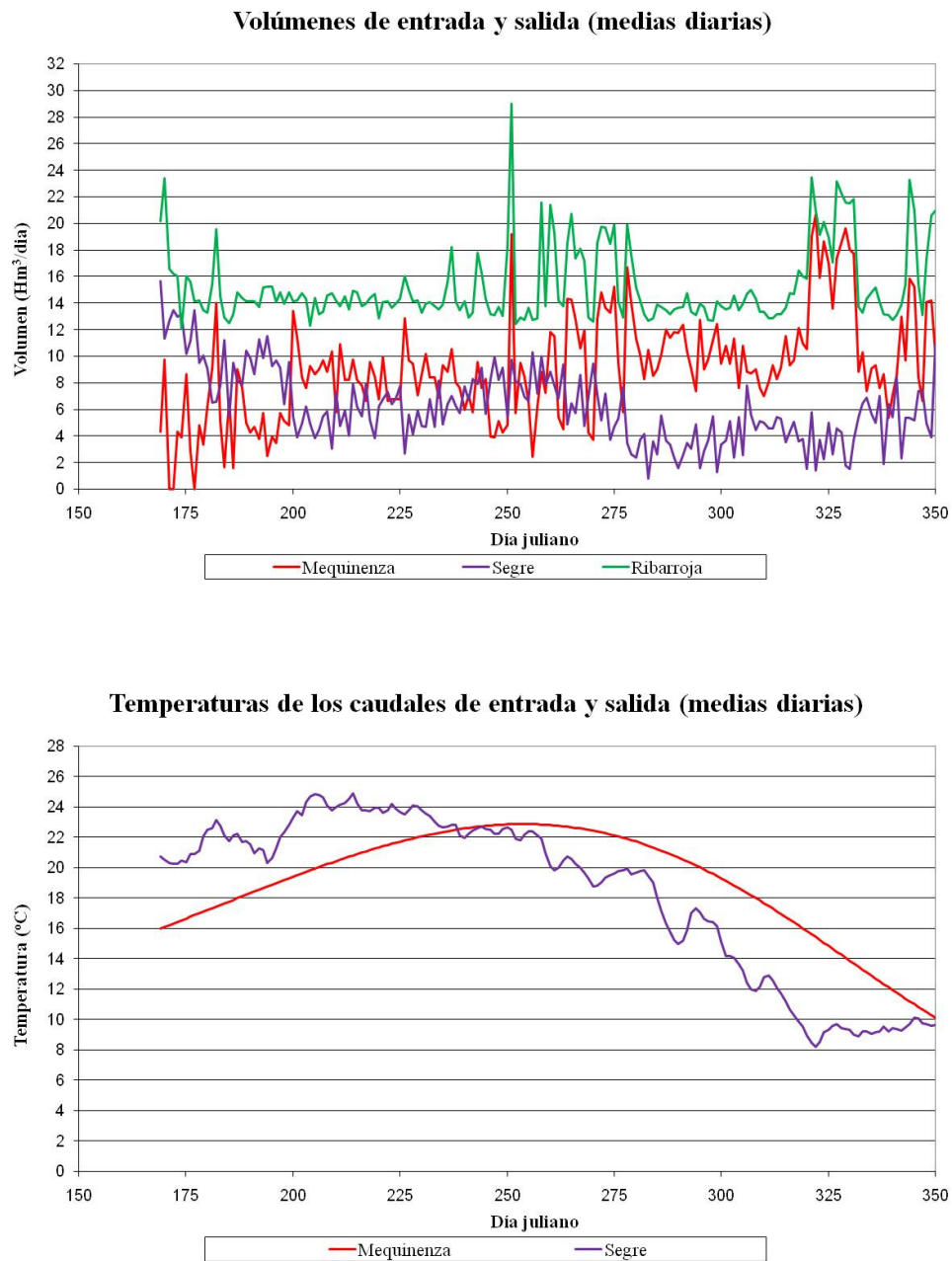


Figura 4 Caudales de entrada y salida al embalse de Ribarroja (medidos)

4.4 Resultados

Los resultados de la modelización con DYRESM se pueden observar en la figura 5. La tendencia evolutiva de los perfiles se describe bien con el modelo, simulando correctamente la evolución del proceso de estratificación así como el momento en que se mezcla el embalse (20 de Octubre aproximadamente). A partir de los 2 m de profundidad el modelo simula los perfiles de temperatura con un error máximo de 2 °C; los valores en superficie tienen un error superior del orden de los 4 °C (las máximas diferencias se dan en Julio y Agosto).

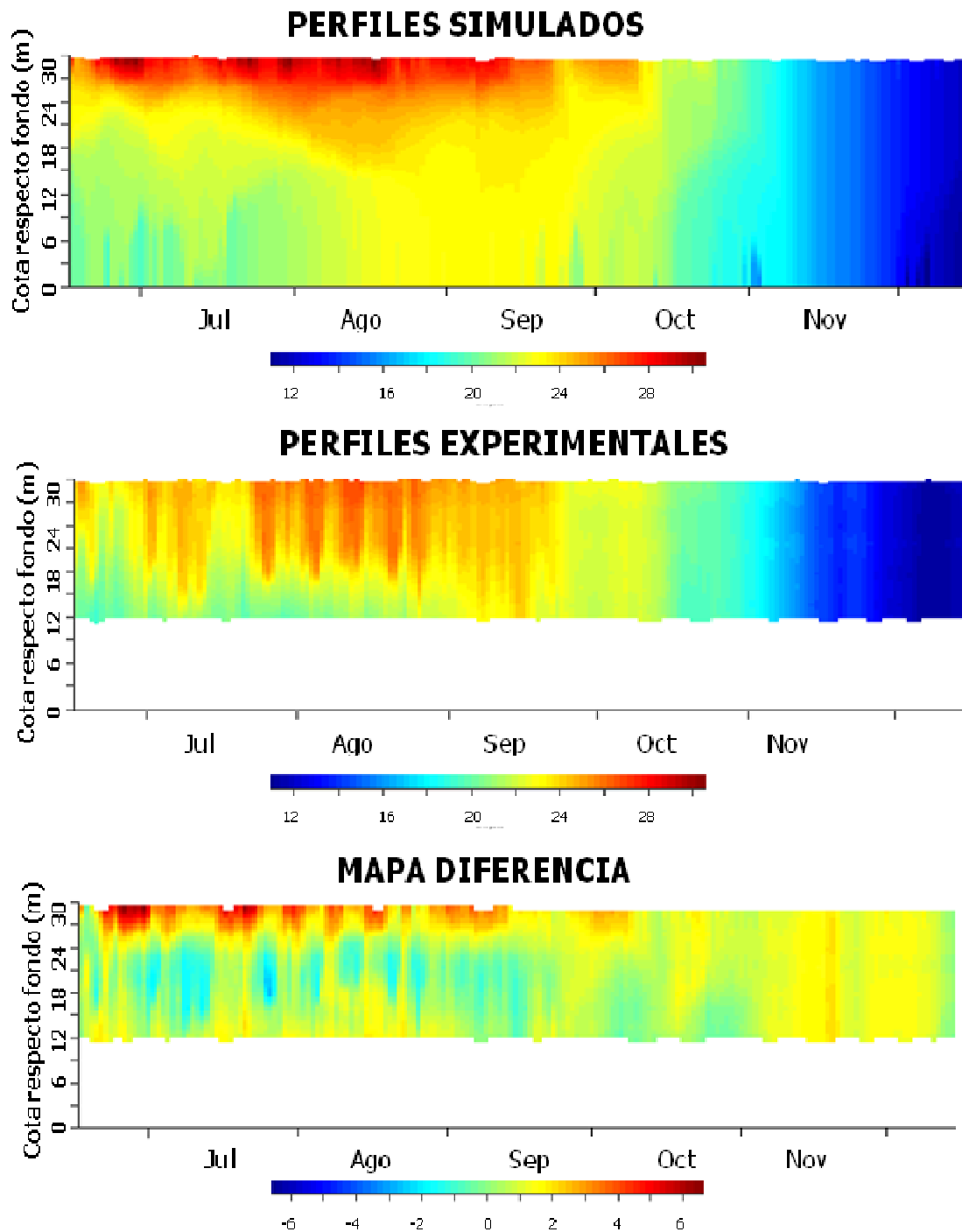


Figura 5 Simulación de la evolución temporal del perfil de temperatura del embalse de Ribarroja mediante DYRESM

El modelo DYRESM permitió obtener la evolución temporal de la temperatura de salida del embalse de Ribarroja de Ebro. En la figura 6 se puede ver la comparación entre la temperatura modelizada con DYRESM (rojo) y la real (verde).

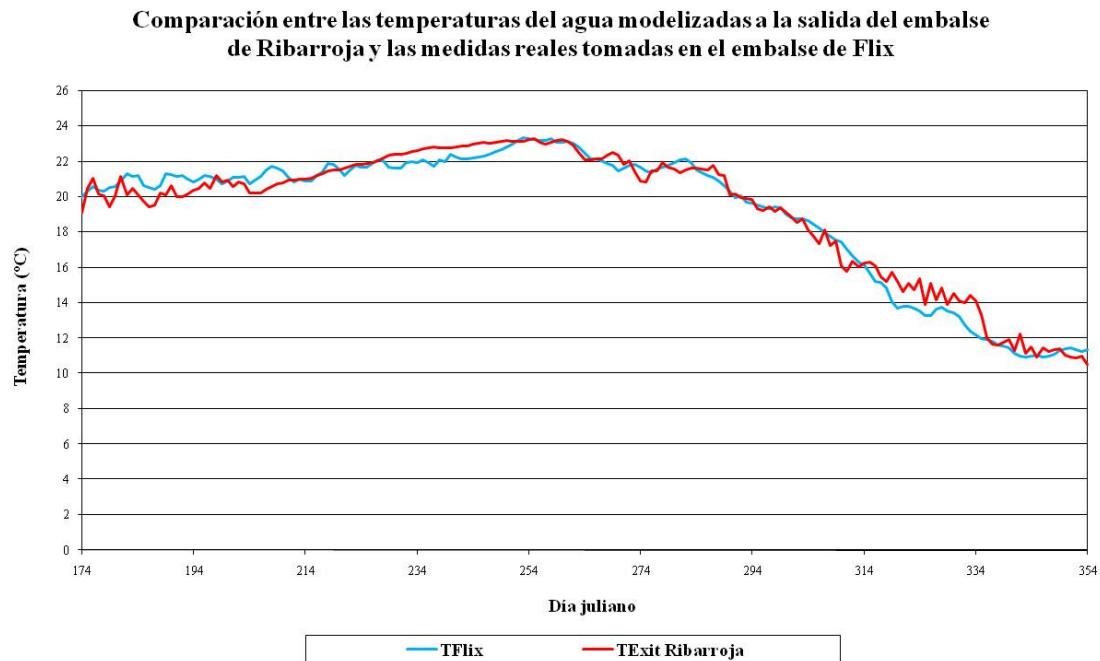


Figura 6

Comparación entre temperaturas medidas en campo y las modeladas con DYRESM

5 Optimización de parámetros de la modelación numérica unidimensional del embalse Ribarroja de Ebro

En la primera modelación unidimensional mediante DYRESM se observó que en superficie era donde se concentraban los mayores errores numéricos, por este motivo se decidió hacer un nuevo estudio de calibración i análisis de sensibilidad de los parámetros más influyentes del modelo y así intentar ajustar mejor los resultados a los datos de campo.

Los 16 parámetros contemplados en el análisis de sensibilidad fueron los siguientes: albedo, grueso de la capa bentónica, velocidad crítica del viento, coeficiente de arrastre del Segre y Cinca, coeficiente de arrastre de Mequinenza, coeficiente de extinción de la luz, grosor máximo y mínimo de las capas, pendientes medias del fondo, eficiencia de la mezcla por energía potencial, semiángulos de las secciones medias de Mequinenza y Segre, eficiencia de la producción de cizallamiento, emisividad del agua y eficiencia de la agitación por el viento.

Para la optimización de los parámetros se desarrolló un esquema de Simulaciones de Montecarlo con DYRESM, así los parámetros del modelo se simulaban como variables de distribución aleatoria (dentro de un cierto rango de valores) y se evaluaba la bondad de ajuste con la suma de errores cuadráticos entre los datos de campo y los simulados después de obtener las simulaciones de DYRESM. Se realizaron 15.000 simulaciones, puesto que la precisión del resultado aumenta si se incrementa el número de simulaciones (Salgado, 2008).

Se realizó un análisis exhaustivo de sensibilidad de todos los parámetros del modelo, inicialmente parámetro a parámetro y después por grupos con tal de estudiar las interacciones entre ellos. Por este motivo y debido al coste computacional el estudio se centró en los 8 parámetros más influyentes: grosor máximo y mínimo de capa, coeficiente de extinción de la luz, semiángulo de Mequinenza, albedo, emisividad del agua, grosor de la capa bentónica y el límite de eficiencia de agitación por el viento.

La calibración de estos parámetros más sensibles siguiendo la metodología GLUE, que asume que no puede existir un único conjunto de parámetros óptimo, sino que varios conjuntos aunque sean muy distintos pueden presentar el mismo nivel de ajuste a los datos de campo. El análisis de los resultados se realizó mediante

diagramas de dispersión (figura 7), en los que se subdividían los resultados en una zona de rango aceptable y otra para el rango no aceptable, estableciendo así los intervalos de confianza de cada parámetro.

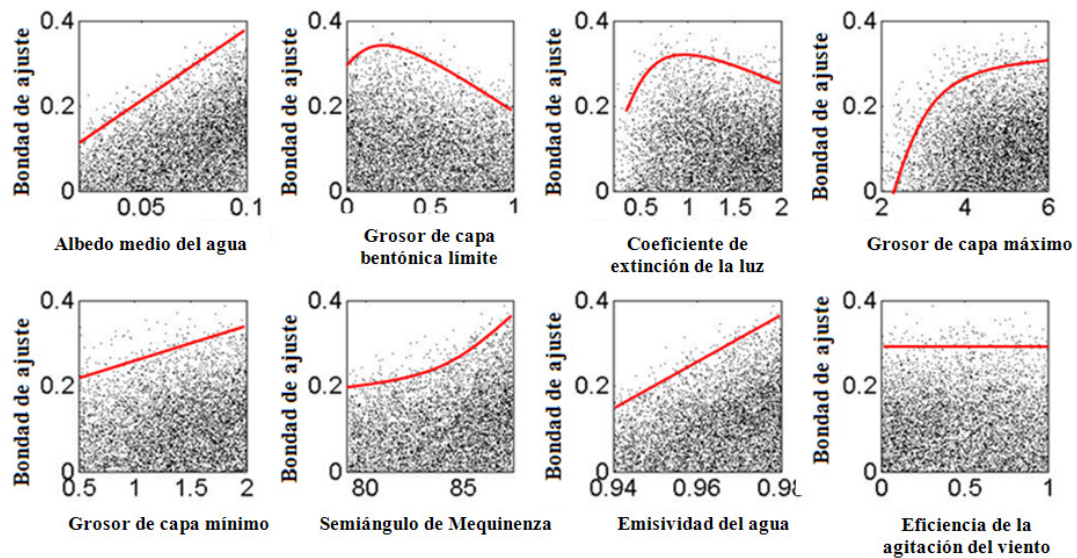


Figura 7 Diagramas de dispersión para los parámetros más sensibles en la modelización con DYRESM

Se puede observar (figura 8) que los ajustes de los perfiles de temperatura del embalse mejoran notablemente después de la calibración, en negro se pueden ver los perfiles muestreados en el campo; en amarillo los obtenidos con la simulación con DYRESM antes de la calibración y en verde los obtenidos con DYRESM después de la calibración.

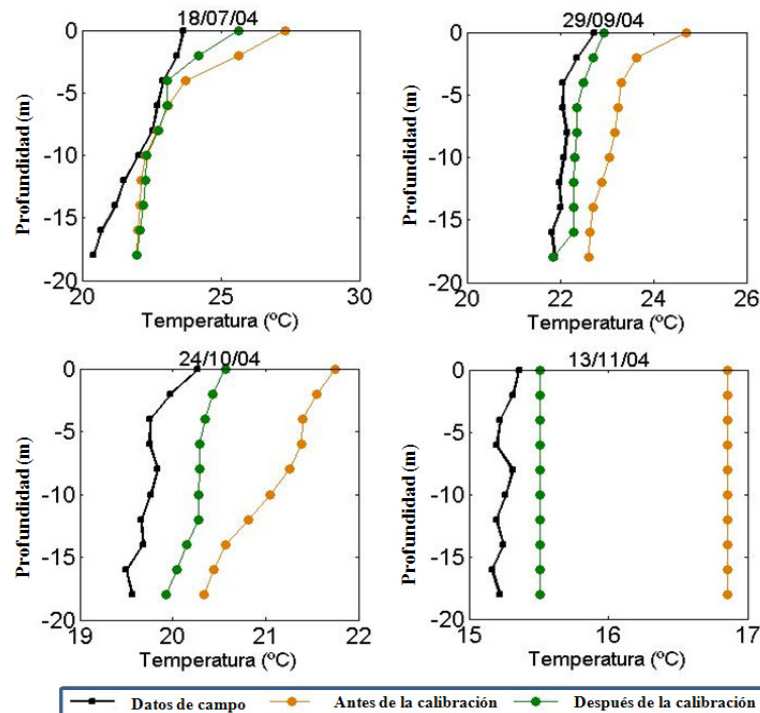


Figura 8 Comparación entre perfiles verticales de temperatura medidos y perfiles simulados con DYRESM antes y después de la optimización de parámetros

6 Conclusiones

El modelo DYRESM simula aceptablemente el periodo de estratificación y mezcla, así como la profundidad de la termoclina.

El modelo DYRESM es poco sensible al cambio de valores de los parámetros velocidad crítica del viento, eficiencia de la mezcla por energía potencial, eficiencia de producción de cizalla, pendientes, coeficientes de arrastre y semiángulo del tributario de las entradas de caudales.

Los parámetros más sensibles resultan ser el coeficiente de emisividad del agua y el albedo, responsables de la sobreestimación de la temperatura en superficie.

Se concluye que después de la calibración la temperatura de superficie disminuyó notablemente, y en general todos los perfiles modelados se acercan más a los datos de campo. Aunque menores, las máximas variaciones respecto los datos de campo se siguen produciendo en superficie en el periodo de estratificación.

Finalmente cabe destacar que el embalse de Ribarroja de Ebro es un caso muy particular, ya que la estratificación que presenta viene determinada por la marcada diferencia de temperaturas entre los dos flujos de entrada (Segre y Ebro saliendo de Mequinenza). Así pues, un modelo en una dimensión, aunque proporciona buenos resultados, quizá no es el más adecuado para simular la hidrodinámica de un embalse largo y estrecho que además tiene dos inputs importantes situados en distintos puntos de la cola del mismo. Por este motivo se propuso estudiar el comportamiento bidimensional del Embalse de Ribarroja de Ebro.

7 Referencias

González, O (2007) Modelización de la hidrodinámica de un embalse. Aplicación al caso del embalse de Ribarroja en el río Ebro. Universidad Politécnica de Cataluña. Tesina de final de carrera.

Imerito, A (2007) Dynamic Reservoir Simulation Model DYRESM v4 – v4.0 Science Manual. Centre for Water Research, University of Western Australia.

LIMNOS (1996) Diagnóstico y gestión ambiental de embalses en el ámbito de la Cuenca Hidrográfica del Ebro. Confederación Hidrográfica del Ebro.

Salgado, A (2008) Optimización de parámetros del modelo hidrodinámico del embalse de Ribarroja en el embalse de Ribarroja en el río Ebro. Universidad Politécnica de Cataluña. Tesina de final de carrera.

Val, R (2003) Incidencia de los embalses en el comportamiento térmico del río. Caso del sistema de embalses Mequinenza, Ribarroja y Flix en el río Ebro. Universidad Politécnica de Cataluña. Tesis Doctoral.